Sergio Musmeci, Ponte Basento (1967–1976) (Foto: Industria Italiana del Cemento, Nr. 2, Februar 1977, S. 95)

SERGIO MUSMECI

«In der Erinnerung der Freunde wird er ein einsames Genie bleiben, voller Entdeckungen [...]: fast wie der Basento-Viadukt von Potenza, unversehrt zwischen den Ruinen [...].»[1] Bruno Zevi (1918–2000) zu zitieren, der mit seinen zuweilen provokativen Essays die Architekturkritik der italienischen Nachkriegsarchitektur in Atem hielt, drängt sich nicht nur deshalb auf, weil er dem Ingenieur Sergio Musmeci (1926–1981) zeitlebens freundschaftlich verbunden war («Modernes Universalgenie»). Ebenso, wie der Professor junge Talente entdeckte, lange bevor der Begriff der «emerging architects» kursierte, brach er auch immer wieder eine Lanze für in Vergessenheit geratene oder missverstandene Ingenieure und Architekten.

Musmeci war seinerzeit in Italien zwar kein Unbekannter. Er hat Grössen wie Pier Luigi Nervi oder Giorgio Morandi herausgefordert. Doch realisieren konnte er nur einen Bruchteil seiner Projekte. Bezeichnenderweise gewann er etliche Wettbewerbe ex aequo. «[...] stellte er eine Gefahr dar, sei es für die an anachronistischen Bemessungsformeln festhaltenden Ingenieure, sei es für die [...] nekrophilen, in der Postmoderne Zuflucht nehmenden Architekten»,[2] schrieb Bruno Zevi. Welche Experimentierfreude Musmeci trieb, um «den Eigenheiten der gewohnten Techniken [auszuweichen], um mit einzigartigen, aussergewöhnlichen Ausfallschritten in die ‹Geometrie des Kontinuums› auszuscheren»[3], illustriert «Stahlbeton, Seifenblasen und Modelle».

«Seine Sprache besteht zweifelsohne aus Dissonanzen, scheint ketzerisch, gemessen am zeitgenössischen, architektonischen Kodex, [...].»[4] Dem «Klang»[5] dieser Sprache in ihren verschiedenen Lesarten spürt «Formen aus Kräften und Spannungen» nach. «Unversehrt zwischen den Ruinen» dürfte bald wieder Musmecis Hauptwerk sein, die Brücke über den Basento (vgl. espazium.ch «Ein Meisterwerk ist in die Jahre gekommen»).

Rahel Hartmann Schweizer, hartmann@tec21.ch, **Aldo Rota**, rota@tec21.ch

Anmerkungen

1 «Nel ricordo degli amici resterà un genio prolifico di scoperte, [...].», Bruno Zevi, «Scompare Sergio Musmeci, in: ders., Cronache di architettura – dal fallimento del post-modern all'impegno sociale del design», Universale Laterza, Vol. 24, Roma-Bari, 1981, S. 166–167.

2 «[...] rappresentava un pericolo [...].» Op. cit., S. 166.

3 «Musmeci eludeva la specificità della tecnica consueta [...]» Op. cit., S. 166.

4 «[...] il linguaggio che egli parla è fatto certamente di dissonanze, [...].», Einleitung zu: Sergio Musmeci, «Le tensioni non sono incognite», in: Parametro, Nr. 80, Oktober 1979, Faenza Editrice, Faenza, S. 40.

5 Jürg Conzett, Das Zusammenspiel technischer und architektonischer Aspekte am Beispiel des Palazzo della Regione in Trento (I), S. 95, in: www.af-z.ch/files/dialog_leseprobe.pdf.

5 WETTBEWERBE
Wohnüberbauung Landolt-Areal, Zürich

12 MAGAZIN
Eingespannte Fahrbahn

18 MODERNES UNIVERSALGENIE
Fausto Giovannardi Der Ingenieur Sergio Musmeci (1926–1981) war fasziniert vom Weltraum und beobachtete die Gestirne. Er studierte Aviatik-Ingenieurwesen und befasste sich für seine Konstruktionen mit Naturphänomenen.

20 FORMEN AUS KRÄFTEN UND SPANNUNGEN
Fausto Giovannardi Sein Capolavoro war die Brücke über den Fluss Basento in Potenza (1967–1976). Doch war das Œuvre Sergio Musmecis breit gefächert. Er beschäftigte sich mit Falttragwerken, Membranen, Gitterstrukturen und Seilkonstruktionen.

28 STAHLBETON, SEIFENBLASEN UND MODELLE
Gabriele Neri Visonäre Ingenieure wie Sergio Musmeci konnten ihre Entwürfe seinerzeit rechnerisch nicht zuverlässig überprüfen. Daher arbeitete Musmeci intensiv mit Modellexperimenten, um seine «unmöglichen» Konstruktionen zu untersuchen.

33 SIA
Sektionsfeste zum SIA-Jubiläum | Fort- und Weiterbildung | Wettbewerbsprogramme in Prüfung

45 IMPRESSUM

46 VERANSTALTUNGEN

EINGESPANNTE FAHRBAHN

01 Modell des Entwurfs für die Brücke über die Strasse von Messina von Sergio Musmeci (Bilder: Archiv Sergio Musmeci)

1969 findet erstmals ein Wettbewerb für eine Brücke über die Strasse von Messina statt. Der bis anhin nur in Spezialistenkreisen bekannte italienische Ingenieur Sergio Musmeci gewinnt den ersten Preis. Die damals extreme Spannweite von 3300 m wird durch zwei Schrägseile überspannt, die sie auf eine Hauptspannweite von effektiv 2000 m reduzieren. Ein zweites Seilsystem unter der Fahrbahn gewährleistet die seitliche Stabilität. Dieser Entwurf bedeutet für den 44-jährigen Musmeci den Durchbruch.

Am 28. Mai 1969 schreiben die staatliche italienische Betriebsgesellschaft der Autobahnen und Autostrassen ANAS und die nationale Eisenbahngesellschaft Ferrovie dello Stato einen «Internationalen Ideenwettbewerb für eine stabile Strassen- und Eisenbahnverbindung zwischen Sizilien und dem Kontinent» aus. An dem Wettbewerb nehmen 143 Konkurrenten teil, von denen 85 die Voraussetzungen der Ausschreibung erfüllen. In der ersten Runde schlagen 45 Teilnehmer eine Hänge- oder Schrägseilbrücke mit einem oder mehreren Feldern vor, 19 sprechen sich für einen Tunnel auf oder unter dem Meeresgrund aus, und zwölf bieten andere Lösungen wie Dämme, Isthmen oder schwimmende Brücken an. Das international zusammengesetzte Preisgericht verleiht am 25. November 1970 sechs erste und sechs zweite Preise. Für jeden Lösungstyp wurden die besten Beiträge ex aequo ausgezeichnet. Die 15 Millionen Lire (damals rund 100 000 Franken) für den ersten Preis gingen an vier Entwürfe von Hängebrücken mit unterschiedlicher Gliederung: Ein Feld mit einer Spannweite von 3000 m (von Musmeci angeführte Gruppe); drei Felder mit jeweils 770–1600–770 m Spannweite (Gruppe «Ponte Messina Spa»); vier Felder mit jeweils 465–1360–1360–465 m Spannweite (vom Architekten Eugenio Montuori angeführte Gruppe); fünf Felder mit jeweils 500–1000–1000–1000–500 m Spannweite (Gruppe «Technital»).

DER TRICK MIT DEN SCHRÄGSEILEN

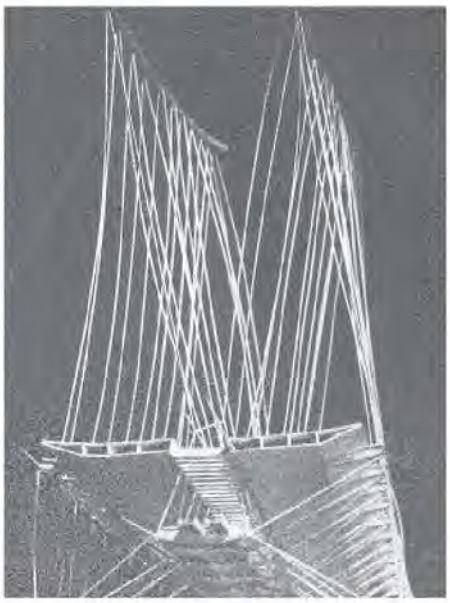
Die Brücke von Musmeci kann als Kombination von Hänge- und Schrägseilbrücke betrachtet werden. In diesem Entwurf wird das klassische Konzept der Hängebrücke weiterentwickelt und vorgeschlagen, die tragenden vertikalen Seile im Sinne eines Jawerthschen Trägers mit gegensinnig unterhalb der Fahrbahn gespannten Stabilisierungsseilen zu ergänzen, um Schwingungen und aerodynamische Instabilitäten wirksam aufzufangen.

Die Idee für seine bahnbrechende Lösung soll Musmeci eines Nachts eingefallen sein: «Ich entwerfe eine Brücke von zwei statt drei Kilometern. Dann entferne ich die Pylone und ersetze sie durch Schrägkabel, die die Gewichte und Spannungen zu den Spitzen der Pfeiler [an den Ufern] zurückführen».[1]

Das Projekt zeichnet sich durch zwei charakteristische Elemente aus: Die Verwendung von Schrägseilen, dank derer die langen Hänger in der Nähe der Pylonen minimiert werden und die Einführung von Stabilisierungsseilen, die entgegen der Tragseile gespannt sind. Diese Lösung weist im Vergleich zum traditionellen Ansatz zahlreiche Vorteile auf, insbesondere im Hinblick auf die Stabilität gegen vertikale und horizontale Bewegungen, auf die höhere Torsionssteifigkeit sowie auf ein geringes Eigengewicht des Fahrbahnträgers.

DER ENTWURF IN DEN WORTEN VON SERGIO MUSMECI

«Die für den Wettbewerb entworfene Brücke ist ein gespanntes Seiltragwerk. Die Zugseile unter dem Fahrbahnträger stabilisieren sie effektiv gegen Wind und gegen Erdbeben. Das Projekt sieht zwei je 15 m breite Autobahnfahrbahnen mit insgesamt acht Fahrstreifen inklusive zwei Standspuren sowie zwei Eisenbahngleise mit maximal 10‰ Gefälle vor. Die [rund 400 m hohen] Pylone aus hochfestem Stahl sind im Grundriss als dreistrahlige Sterne angelegt. Sie werden an den Uferlinien aufgestellt und durch Lifte zugänglich sein. Die Pylonen tragen mittels speziel-



02 Modellquerschnitt des aus zwei vierzelligen Hohlkastenträgern bestehenden Fahrbahnträgers mit darunter aufgehängtem Eisenbahntrassee; der Fahrbahnträger ist zwischen den oberen Tragseilen und den unten angeordneten Stabilisierungsseilen eingespannt

ler Einhängevorrichtungen das Tragseilsystem, das ein Feld von 2000 m und zwei weniger weit gespannte Felder von je 500 m abdeckt. Seine unterschiedlich gespannten Seile werden durch gegenläufige Verstrebungs-Zugseile unter dem Fahrbahnträger ergänzt. Diese fallen zu den Ufern hin ab und sind dort im Abstand von 240 m an den Enden der grossen Stahlbeton-Fundamentplattformen der Pylone verankert. Auf Fachwerkträger und Portalpylone wurde zugunsten von Leichtigkeit und klarer Linienführung verzichtet, um dem Bauwerk Schwung zu verleihen und die Konstruktion auf das Wesentliche zu reduzieren. . .».[2]

VON MESSINA ZUM FLUSS BASENTO

Von Seilnetzen mit gleichmässiger Zugspannung geht Musmeci zur Erforschung der Formen von Membranen unter gleichmässiger Druckspannung als Umkehrung der auf die Seilkonstruktionen einwirkenden Kräfte über. Diese Studien konkretisiert er in Potenza mit der 1971–1975 errichteten Brücke über den Basento.

Fausto Giovannardi, Dr., Ingenieur,
fausto@giovannardierontini.it

Überarbeitung: rhs, ar, Übersetzung aus dem Italienischen: Alexandra Geese

DIE BRÜCKE VON MESSINA HEUTE

Aus heutiger Sicht scheint der internationale Wettbewerb von 1969 keine Spuren hinterlassen zu haben. Weder der Entwurf von Musmeci noch eines der anderen Wettbewerbsprojekte wurden weiter verfolgt. In den folgenden Jahrzehnten optierten die Behörden, unter Missachtung der Wettbewerbsergebnisse und zahlreicher Empfehlungen von Ingenieuren und Wissenschaftlern, ausschliesslich für eine Hängebrücke traditioneller Bauart im Stil der New Yorker Brooklyn Bridge (1883), aber mit aerodynamisch gestaltetem Fahrbahnträger. Nach einer wechselvollen Planungsgeschichte setzte sich 2002 der Entwurf des britischen Ingenieurs William Brown durch, der rund ein Vierteljahrhundert zuvor die Hängebrücke über den Bosporus konzipiert hatte. Ende 2010 erhielt die Betriebsgesellschaft «Società Stretto di Messina» vom Generalunternehmer «Eurolink» das definitive Ausführungsprojekt für die Brücke und die Strassen- und Eisenbahnanbindungen.

Eckdaten Planung:
- Ausführungsprojekt und Arbeitsbeginn an den Hauptbaustellen ab Mitte 2012
- Fertigstellung der Brücke Ende 2018

Technische Daten des aktuellen Projekts:

Spannweite des Hauptfeldes:	3300 m
Gesamtlänge mit Randfeldern:	3666 m
Breite des Fahrbahnträgers:	60.4 m
Höhe der Pfeiler:	399 m
Verhältnis Durchhang:Spannweite:	1:11
Durchfahrtshöhe für Schiffe:	70/65 m
4 Hauptkabel (2 Paare)	
Länge eines Hauptkabels:	5320 m
Durchmesser eines Hauptkabels:	1.26 m
Anzahl Stahllitzen eines Hauptkabels:	44 323

Autobahn mit sechs Fahrspuren und zwei Dienstspuren, Eisenbahn mit zwei Gleisen
Die Brücke soll Erdbeben mit einer Magnitude von 7.1 auf der Richterskala und Windgeschwindigkeiten bis 270 km/h widerstehen können. Die Kosten werden gegenwärtig auf rund 4.6 Mrd. Euro geschätzt. Informationen: www.stradeanas.it, www.structurae.de

Literatur

1 Bruno Zevi, aus: «Cronache di Architettura», vol. VIII, Laterza 1973
2 Sergio Musmeci, aus: «Nuovo cantiere», April, 1998

MODERNES UNIVERSALGENIE

Zeitgenossen bezeichneten den Ingenieur Sergio Musmeci (1926–1981) als modernes Renaissance-Universalgenie. Er war fasziniert vom Weltraum und beobachtete die Gestirne. Er interessierte sich für die Erdatmosphäre und studierte Aviatik-Ingenieurwesen. Er war umweltbewusst und inspirierte sich für seine Konstruktionen an Naturphänomenen.

Titelbild
Die mächtigen Rotationshyberboloide des Giunta-Gebäudes des Palazzo della Regione di Trento (1954–1962)
(Foto: Fausto Giovannardi)

Sergio Musmeci, am 2. Juni 1926 geboren, verbringt die frühe Kindheit im elterlichen Wohnhaus im Trastevere in Rom. 1930 zieht die Familie ins Quartier Ludovisi-Parioli, wo Musmeci die Jugendjahre unter deutscher Besatzung erlebt. Vom September 1943 bis im Juni 1944 bereitet er sich aus Furcht vor den Razzien unter «Hausarrest» auf die Prüfungen für den Zweijahreskurs in Ingenieurwesen an der Universität «La Sapienza» vor. In der «Klausur» entdeckt er seine Leidenschaft für die Astronomie, die er mit seinem um zwei Jahre jüngeren Bruder Alberto teilt und die ihn zeitlebens nicht loslässt (Abb. 1). Die beiden bauen ein Fernglas zum «Teleskop» um und halten ihre Beobachtungen in Zeichnungen fest, da ihnen eine Fotokamera dafür fehlt. Sergios Wunsch, sich für das Studium am astronomischen Observatorium «Monte Mario» in Rom einzuschreiben, zerschlägt sich an den finanziell bescheidenen Verhältnissen der Familie. Stattdessen absolviert er den zweijährigen Kurs an der Sapienza, auf den er sich während des Krieges vorbereitet hatte. Das Ingenieurwesen bietet sich an, weil es einerseits eine wirtschaftlich positive Perspektive in Aussicht stellt, andererseits seinen wissenschaftlichen Interessen entgegenkommt.

Den folgenden Dreijahreskurs an der «Scuola di Applicazione per Ingegneri» schliesst Musmeci 1948 im Alter von 22 Jahren mit dem Diplom zum Thema dünnwandiger Gewölbe ab. Diese Auseinandersetzung mit Tragwerken, die durch ihre Form den externen Beanspruchungen standhalten, kündigt bereits sein lebenslanges Interesse an Strukturen an, deren Tragfähigkeit in der Form angelegt ist.

Seine erste Station nach dem Studium ist das Studio von Riccardo Morandi, wo er die Architekturstudentin Zenaide Zanini (*1926) kennenlernt – seine künftige Frau –, die im Büro Morandi als Zeichnerin arbeitet. Anfang 1950 kündigt er den Vertrag und steigt im Unternehmen von Pier Luigi Nervi, der Gesellschaft Nervi & Bartoli, ein. Er erarbeitet unter anderem ein Vorprojekt für den Palazzetto dello Sport in Rom: eine Kuppel aus vorfabrizierten Stahlbetonelementen im Geiste Nervis, doch mit Rippen, deren Verlauf sich an drei verschiedenen Spiralformen orientiert.

1953, im Jahr der Einberufung in den Wehrdienst, besucht Musmeci einen Kurs in Luftfahrt-Ingenieurwesen, den er ebenfalls mit dem Diplom abschliesst. Im selben Jahr heiratet er Zenaide Zanini – eine Partnerschaft, welche die beiden auch beruflich führen – und macht sich 1954 selbständig. Bereits im ersten Jahr der Selbständigkeit macht er sich in Italien einen Namen, als er im Wettbewerb für den Bahnhof von Neapel 1954 den zweiten Preis gewinnt.[1] Die «Weihe» erfolgt schon zwei Jahre später, als er als 30-Jähriger – in einer von Koryphäen wie Pier Luigi Nervi und Giorgio Morandi dominierten Zeit – für das Tragwerk des Palazzo della Regione von Trient verantwortlich ist («Formen aus Kräften und Spannungen», S. 20). Dessen architektonischer Entwurf stammt von keinem Geringeren als Adalberto Libera (1903–1963), einem der prominenten Vertreter des Razionalismo.

Musmeci arbeitet im Laufe seines Lebens auch mit den anderen bedeutenden Figuren des «Who is Who» der italienischen Nachkriegsarchitektur: Annibale Vitellozzi (1906–1954), Eugenio Montuori (1907–1982) und Leo Calini (1903), Ludovico Quaroni (1911–1987), Ugo Luccichenti (1899–1992), Carlo Mollino (1905–1973) und Bruno Zevi (1918–2000), der ihm auch freundschaftlich verbunden ist. Musmeci ersinnt und rechnet die Tragwerke ihrer Bauten und Projekte (vgl. «Formen aus Kräften und Spannungen»).

01

02

Unter der Vielzahl von Wettbewerben, an denen er sich allein, zusammen mit Zenaide Zanini oder anderen Architekten und Ingenieuren im Laufe seines Berufslebens beteiligt, stechen zwei Brückenprojekte hervor: das für den Ponte Basento, das er 1967–1976 realisieren kann («Stahlbeton, Seifenblasen und Modelle», S. 28), und das der Brücke über die Meerenge von Messina, dessen Wettbewerb er ex aequo mit einem bis heute faszinierenden Projekt gewinnt («Eingespannte Fahrbahn», S. 12).

Die Lösungen, die er für seine Auftraggeber in seinem Atelier zu Hause meist allein oder mit wenigen Mitarbeitern erarbeitet, umfassen Falttragwerke, Membran- und Gitterstrukturen sowie Seilkonstruktionen. Gleichzeitig gelten seine Recherchen – die Kenntnisse als Luftfahrt-Ingenieur nutzend – Tragwerken, die mit minimalem Materialeinsatz operieren und die Kraftflüsse veranschaulichen. Viele seiner Tragwerke überprüft er anhand von Modellen. Die Natur, die diese Fähigkeit längst entwickelt habe, ist seine Inspirationsquelle. Man müsse sich nur das Spinnennetz vor Augen führen: «Ein Seiltragwerk, auf raffinierteste Weise fähig, Beanspruchungen enormen Ausmasses aufzunehmen, mit minimalstem Materialeinsatz.» Sein Credo legt er in dem berühmt gewordenen Aufsatz «Le tensioni non sono incognite» nieder, den die Zeitschrift «Parametro» 1979 publiziert: «Die Architektur, [...], ist ein Feld, auf dem man heute etwas riskieren muss. Wer nicht riskiert, imitiert oder wiederholt. Wenn man ein neues Terrain erobern will, muss man das Unbekannte in Angriff nehmen.»[2]

01 Sergio Musmeci (Fotos: Sergio Musmeci, Privatdruck, CESICA Pordenone)
02 Der Astronomie, die ihn von Kindsbeinen an begeistert hat, gilt zeitlebens Musmecis Passion. 1975 verwirklicht er sich seinen Traum in der von seiner Frau Zenaide Zanini architektonisch gestalteten Villa auf dem Hügel von Formello nördlich von Rom – eine Sternwarte par excellence, mit drehbarer Kuppel, ausgestattet mit einem Cassegrain-Reflektor (für die Planetenschau) von 40 cm Durchmesser, mit äquatorialer Montierung und Nachführung sowie einem Refraktor (für die Beobachtung von Spiralnebeln) und Einrichtungen für Fotoaufnahmen

Fausto Giovannardi, Dott. Ing., fausto@giovannardierontini.it

Übersetzung aus dem Italienischen und Überarbeitung: rhs

Anmerkungen

1 Gewonnen wurde die Ausmarchung von der Gruppe Pier Luigi Nervi, Bruno Zevi, Carlo Cocchia und Giuseppe Vaccaro.

2 «L'architettura, [...], è un campo dove oggi occorre rischiare. Chi non rischia vuol dire che sta imitando oppure ripetendo. Se si vuole invadere un campo nuovo occorre affrontare l'ignoto.» Vgl. Sergio Musmeci, «Le tensioni non sono incognite», in: Parametro, Nr. 80, Oktober, 1979, S. 40.

FORMEN AUS KRÄFTEN UND SPANNUNGEN

Der Name des Ingenieurs Sergio Musmeci (1926–1981) wird in erster Linie mit der Brücke über den Fluss Basento in Potenza (1967–1976) assoziiert – zweifellos sein Capolavoro. Doch stellt sie ein vielfältiges, über ganz Italien verstreutes Werk in den Schatten, das vom Regierungssitz über Sporthallen, Kinos, Markthallen, Kirchen, Firmensitze, Forschungszentren und Villen reicht. Breit gefächert waren auch die Tragwerkssysteme: Falttragwerke, Membranen, Gitterstrukturen und Seilkonstruktionen.

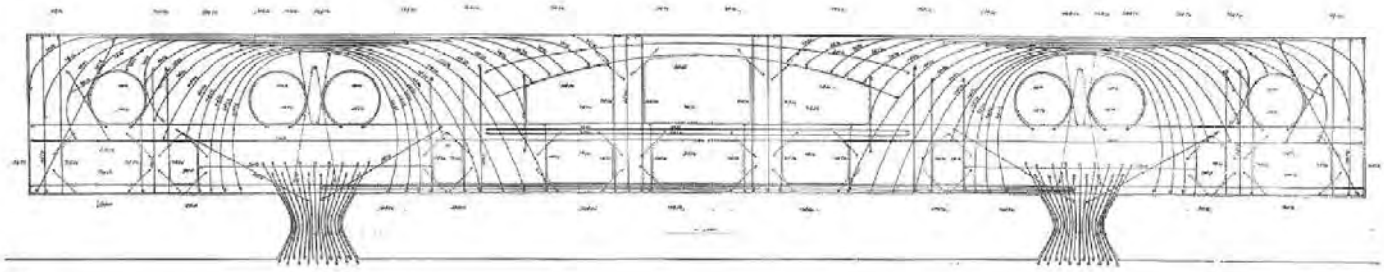
Als wolle er sein Meisterstück abliefern, zog Sergio Musmeci gleich zu Beginn seiner Selbständigkeit 1954 alle Register des Stahlbetonbaus und zwar für das von Adalberto Libera entworfene Projekt des Palazzo della Regione, dem Sitz der Regionalregierung in Trient. Libera gliederte den 1954–1962 realisierten Bau entsprechend der unterschiedlichen Funktionen in drei Volumina: Giunta (Präsidium), Assessorati (Ämter) und Consiglio (Rat/Parlament). Die je eigene Gestalt der Baukörper fand ihren Widerhall in Musmecis Tragwerkskonzepten.

PALAZZO DELLA REGIONE: ROTATIONSHYPERBOLOID UND KEGELSTUMPF

Das auffälligste Gebäude des Komplexes ist das des Consiglio, das aus dem von den anderen beiden Baukörpern gebildeten Innenhof aufragt (Abb. 5). Das Untergeschoss ist als Tambour konzipiert, das Erdgeschoss gleicht einem umgekehrten Kegelstumpf. Hier sind der Sitzungssaal des Regionalrates und ein grosser Tagungssaal untergebracht. Das Gebäude ruht auf vier innen hohlen Pfeilern (Aussendurchmesser 1.20 m, Innendurchmesser 0.70 m). Das leicht angehobene Dach besteht aus einem filigranen Radial-Metallgitterrost. Blickfang des Gebäudes der Assessorati, in dem die Verwaltung untergebracht ist, sind die zwölf gedrungenen vierarmigen Pfeiler (Ø 1.40 m), auf denen das Bauvolumen im Erdgeschoss aufliegt und die entlang der Strasse eine Arkade bilden. Sie verzweigen sich unter der Decke des Erdgeschosses zu 48 Stützenachsen in den Obergeschossen, die in einem quadratischen Raster von 12.80 m angeordnet sind (Abb. 1).
Charakteristisch für den sich über dem rechteckigen Grundriss (72 × 16 m) erhebenden Bau der Giunta, in dem sich die Präsidiumsämter von Regionalregierung und -rat befinden, sind die beiden markanten, mit einer Rustika ornamentierten Piloti (inneres Titelbild und Abb. 2). Trotz ihrer starken Dimensionierung (Querschnitt min. 150/260 cm, max. 200/400 cm) verleiht ihnen ihre Ausbildung als Rotationshyperboloide Eleganz. Sie tragen – im Abstand von 40 m positioniert und unterstützt von zwei Rundstützen (Ø 50 cm) zur Querstabilisierung – den in einem Stützenraster von 8 m aufgelösten Baukörper. Bei diesem handelt es sich konstruktiv um einen zwei Geschosse hohen Doppel-T-Träger in Stahlbeton mit einem 50 cm starken Steg und einer seitlichen Auskragung von je 16 m. Der obere Flansch ist im Querschnitt flügelförmig. Der untere Flansch ist das als Kasten ausgebildete 1. Obergeschoss (Abb. 4, 6). Dadurch werden die von den Schrägstützen in den Boden des 1. Obergeschosses eingeleiteten Stabilisierungskräfte in den Steg des Doppel-T-Trägers umgelenkt. «Während das Gebäude der Sala Consiliare von einer unmittelbar einleuchtenden und unzweideutigen, konstruktiven Logik [...] [ist]»[1], eröffnen sich bei den Bauten Assessorati und Giunta verschiedene Lesarten. Ihre konstruktiven Elemente können als Vierendeel- und Doppel-T-Träger, als A-Stütze und Rahmen, als Pendelstütze und Hänger (Giunta) / bzw. als Ober- und Unterzüge (Assessorati) interpretiert werden. Es sind ingeniöse Vexierbilder.

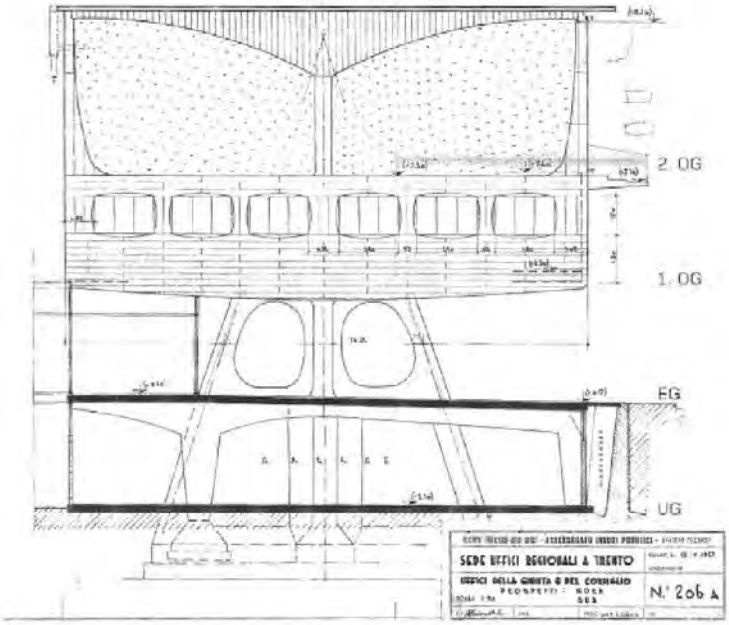
01

02



03

01 Palazzo della Regione di Trento, 1954–62, (Architektur: Adalberto Libera): Einer der zwölf vierarmigen Pfeiler, auf denen das Gebäude der Assessorati ruht
(Fotos 01+02: Fausto Giovannardi)
02 Die zwei markanten Rotationshypberboloide des Giunta-Gebäudes; daneben die der Querstabilisierung dienenden schiefen Rundstützen
03 Bewehrungsplan (Längsschnitt) der Giunta: zweigeschossiger Doppel-T-Träger
(Fotos und Pläne: Sergio Musmeci, Privatdruck, CESICA Pordenone)
04 Querschnitt durch die Giunta in einer frühen Projektvariante: Dtatt der Stützen im Erdgeschoss in Form von Rotationshyperboloiden sah Musmeci noch Wandscheiben vor, sowie im 2. OG beidseits Pendelstützen
05 Der umgekehrte Kegelstumpf des Sitzungssaales des Parlamentsgebäudes
06 Die Baukörper von Assessorati und Giunta im Rohbau: Das Stahlbetonskelett der Giunta als Doppel-T-Träger, dessen kastenförmiger unterer Flansch das 1. OG ist. Im ausgeführten Bau gibt es in der Fassade nur noch eine Reihe von Pendelstützen im 2. OG



04

05

06

07

08

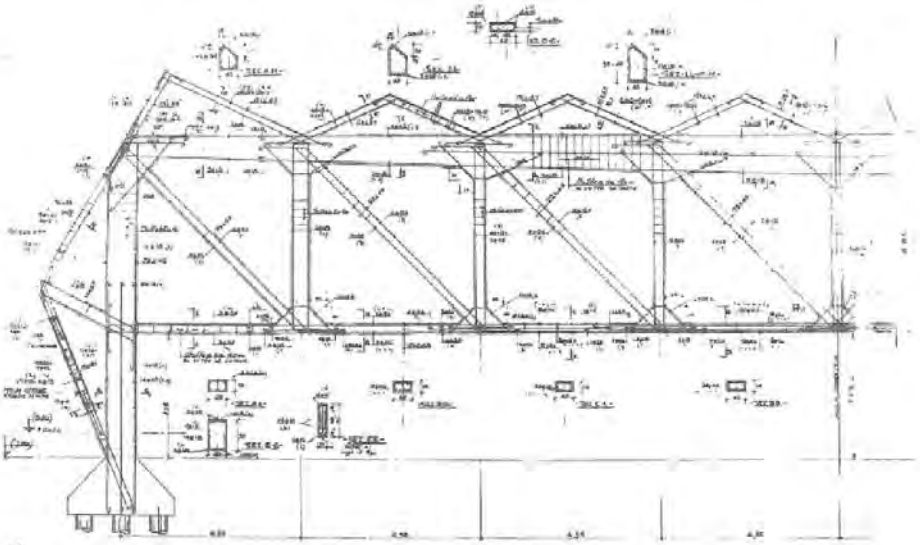
09

10

NATIONALES LEICHTATHLETIK-ZENTRUM: FALTUNGEN

Das erste Faltdach, das Musmeci projektierte, war das des Centro di Atletica Leggera in Formia (LT) – einer weitläufigen Sportanlage, die 1955 nach einem Entwurf von Annibale Vitellozzi (1906–1954) gebaut wurde (Abb. 8, 11). Das komplett aus Stahlbeton bestehende Tragwerk des jungen Sergio Musmeci dominiert die 19.80 m breite und 35 m lange Sporthalle, die durch ein 10 cm starkes Faltdach charakterisiert wird. Dieses ist in Querrichtung auf zwei rechteckigen Rahmen abgestützt. Sie verteilen die gesamte Last, auch die der Mauerausfachungen, auf vier Auflagepunkte an den Ecken der Turnhalle. In konstruktiver Hinsicht sind die Versteifungs-Zuganker an den Enden der Träger, die ähnlich wie eine externe Vorspannung wirken, von besonderem Interesse.

1955 entwarf er für das von Carlo Ammannati gestaltete Kino Araldo in Rom ein Dach, das als Übergangsform zwischen Gewölbe und Faltung bezeichnet werden kann (Abb. 9). Mit dem Dach des 1956 von Leo Calini und Eugenio Montuori projektierten Raffo-Gebäudes für die Marmorbearbeitung in Pietrasanta geht Musmeci einen Schritt weiter: Das 1000 m² grosse Dach ruht auf 24 Auflagepunkten. In den Faltungen des Daches, das an Muster von Maurits Cornelius Escher oder an ein Origami erinnert, wiederholen sich 13 Elemente. Weitere Beispiele sind das Dach des Kinos von Montecchio von 1957 und der mit Sergio Ortolani und Antonio Cattaneo geplante Entwurf für die Eisenbahnerkapelle in Vicenza (VI). 1966–73 griff Musmeci noch einmal auf diese Konstruktionsart zurück, als er mit Carlo Mollino und Carlo Graffi Bühnenrampen und Dach des Foyers des Teatro Regio in Turin plante (Abb. 7).



11

07 Teatro Regio, Turin, 1966–73 (Architektur: Carlo Mollino und Carlo Graffi): Das gefaltete Gewölbe des Foyerdachs, die Treppen und Passerellen erinnern an Maurits Cornelius Eschers Lithografie «Treppauf Treppab» (1960) (Fotos und Plan: Sergio Musmeci, Privatdruck, CESICA Pordenone)
08 Centro di Atletica Leggera (Leichtathletikzentrum), Formia (LT), 1955 (Architektur: Annibale Vitellozzi)
09 Kino Araldo, Rom, 1955 (Architektur: Carlo Ammannati: Eine Kombination aus Fächergewölbe und Kasettendecke überspannt das Kino
10 Mercati Generali, Rom, 1960 (Architektur: Annibale Vitellozzi): Über die Mercati legt sich das Dach – ein uniform druckbeanspruchtes dreidimensionales Gewölbe – wie ein dünner Teig, aus dessen Verformung sich gleichsam die Stützen bilden: Kongruenz von Form und Tragwerk
11 Centro di Atletica Leggera (Leichtathletikzentrum), Formia (LT), 1955 (Architektur: Annibale Vitellozzi): Tragkonstruktion

12

13

12–13 Brücke über den Fluss Astico, Projekt, 1956 mit Sergio Ortolani (Architekt) und Antonio Cattaneo (Ingenieur): Die Modellansichten zeigen, dass die an Maillart erinnernde Silhouette ohne Kreisbogen durch eine hyperstatische Struktur (statisch unbestimmtes System ersten Grades) erzielt wird

BRÜCKE ÜBER DEN FLUSS ASTICO: MEMBRANEN

Seine erste Erfahrung im Bereich der Membrandächer machte Musmeci 1953 mit Giuseppe Vaccaro, als er das Dach für den Markt von Tressanti (FG) aus parabolischen Gewölben entwarf. 1956 übertrug er das Prinzip erstmals auf eine Brücke, und zwar im Entwurf für die Überquerung des Flusses Astico auf der Provinzstrasse zwischen Vicenza und Asiago (Abb. 12–13). Diesen erarbeitete Musmeci 1956 gemeinsam mit seinen Partnern aus Vicenza, dem Architekten Sergio Ortolani und dem Ingenieur Antonio Cattaneo.

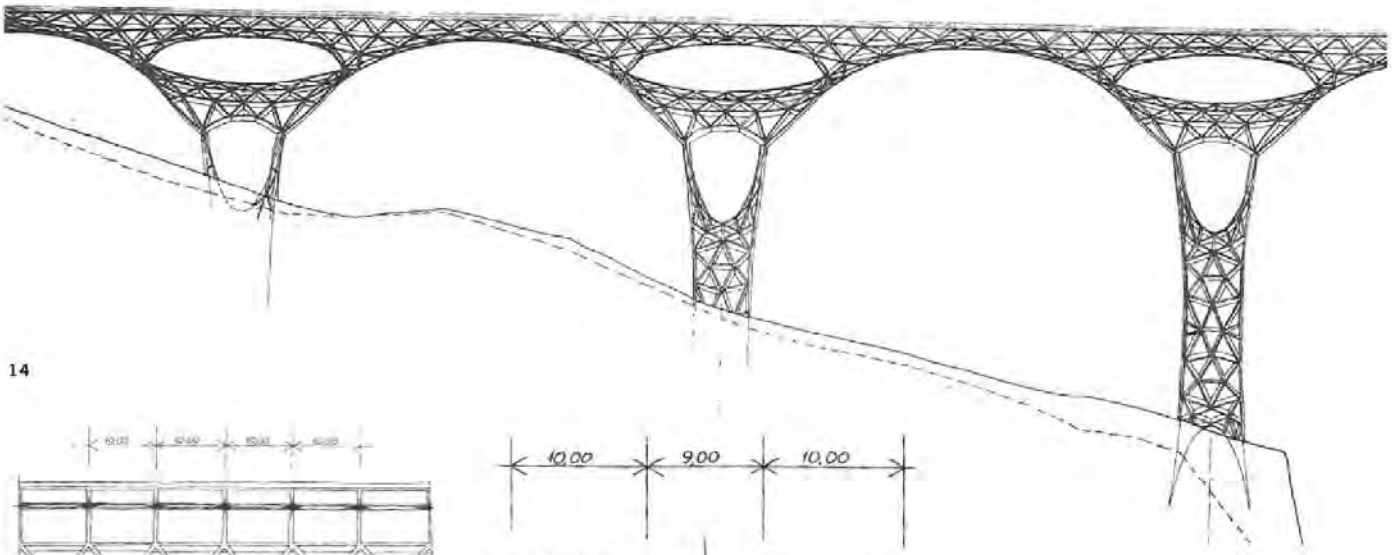
Die Gesamtlänge von 200 m wird von einem zentralen Bogen mit 77 m lichter Weite und sechs unterschiedlich langen Randfeldern überspannt. Die Hauptöffnung des 9 m breiten Stahlbeton-Tragwerks ist als Viergelenkbogen ausgebildet, der durch die Verbindung mit den Rahmen der Randfelder stabilisiert wird. Um eine Membrantragwirkung zu erzielen, sind die Querschnitte der Bogen bombiert. Der durch Querträger unterteilte Kastenträger des Überbaus ist auf den Scheiteln der 35–45 cm starken Bogenträger der einzelnen Felder aufgelegt. Die Bogen sind nicht kreisförmig, um die maximale Biegefestigkeit zu erzielen. Die maximale Stützweite zwischen diesen Elementen beträgt 20 m. Die an Brücken von Robert Maillart erinnernde Silhouette wird ohne Kreisbogen durch eine hyperstatische Struktur (statisch unbestimmtes System ersten Grades) erzielt.

1959 schloss er in der Planung für die Tiber-Brücke in Tor di Quinto in Rom mit Ugo Luccichenti daran an. Über die Mercati Generali in Rom, 1960 mit Annibale Vitellozzi, Massimo Castellazzi und Giulio Dall'Anese projektiert, legt sich das Dach wie eine im Wind ausgeschüttelte Decke. Es ist ein uniform druckbeanspruchtes dreidimensionales Gewölbe, dessen Tiefpunkte als Stützen ausgebildet sind (Abb. 10).

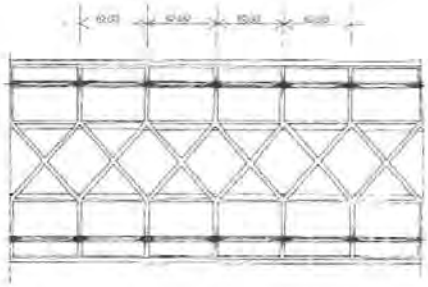
BRÜCKE ÜBER DEN LAO: VON DER MEMBRAN ZUM MASCHENGEFLECHT

Musmecis Entwurf für die Brücke über den Fluss Lao bei Cosenza (CS) auf der Autobahn Salerno-Reggio Calabria, für den er 1964 mit dem 2. Preis ex aequo IN/ARCH-Domosic ausgezeichnet wurde[2], ist ein strukturelles Kontinuum ohne erkennbare Übergänge zwischen Brückenüberbau, Pfeilern und Baugrund (Abb. 14–20).

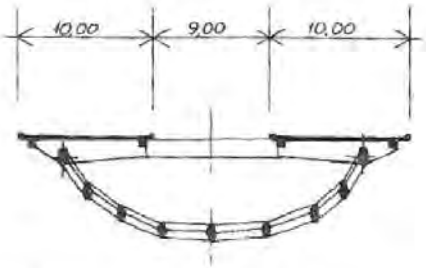
Die Tragkonstruktion geht auf seine frühen Experimente mit Membranen (Minimalflächen) zurück, die er mit Hilfe einer Seifenlösung aufspannte («Stahlbeton, Seifenblasen und Modelle»). Aus diesen Versuchen leitete sich zum Beispiel die dreidimensional gekrümmte Form der Tragkonstruktion der Basento-Brücke ab. Für den Entwurf der Brücke über den Lao ging Musmeci einen Schritt weiter und löste die gekrümmten Flächen seiner früheren Betonbrücken-Entwürfe in dreidimensional angeordnete kurze lineare Elemente (Stäbe) auf, die ein fast beliebig formbares Maschendrahtgewebe bilden. In dieser Konstruktion werden die Stäbe nur durch uniform verteilte Druckspannungen beansprucht. Damit nahm Musmeci die Computermodellierung komplexer Geometrien mit Finiten Elementen (FE) vorweg. Für die Stäbe (Streben) des Tragwerks wollte Musmeci mit Beton ausgegossene, aus zwei Halb-



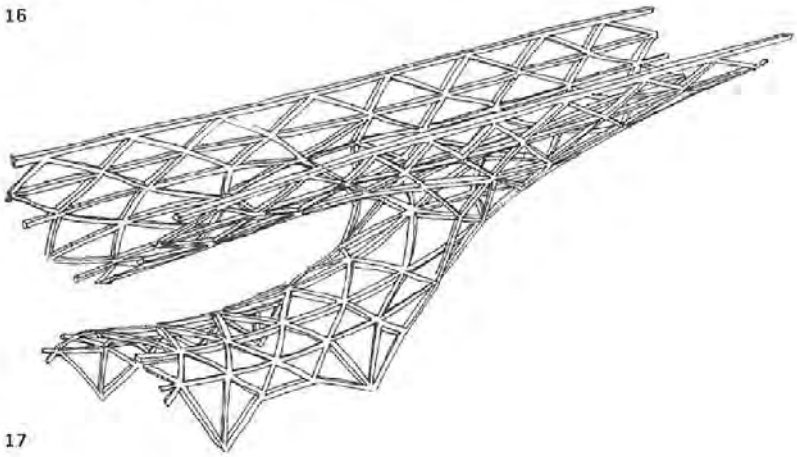
14



15

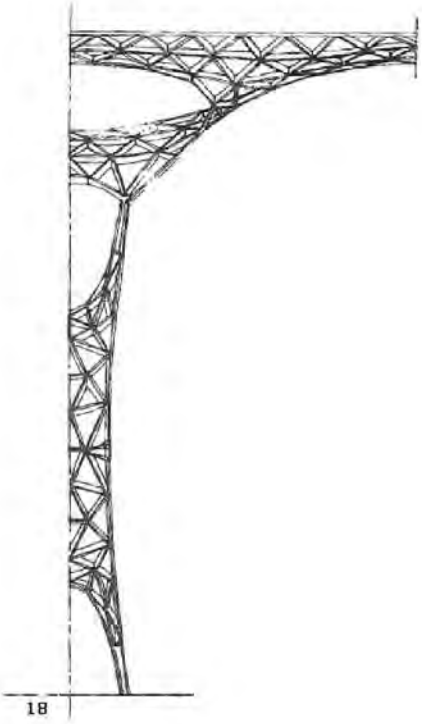


16

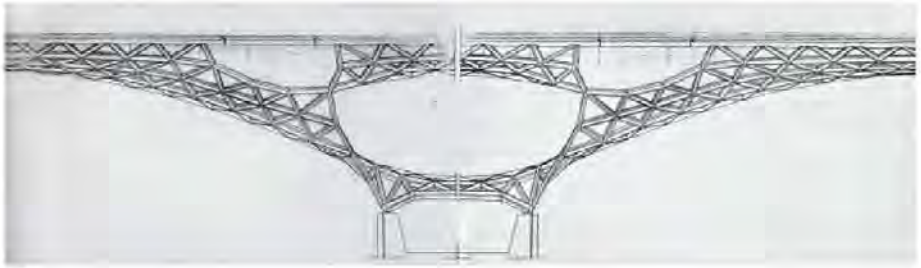


17

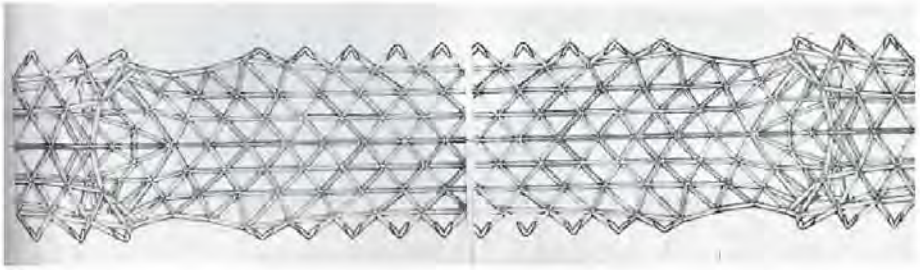
14–20 Brücke über den Fluss Lao auf der Autobahn Salerno-Reggio Calabria, Projekt, 1964: Musmecis Entwurf – ein strukturelles Kontinuum ohne erkennbare Übergänge zwischen Brückenüberbau, Pfeilern und Baugrund – wurde ex-aequo mit dem 2. Preis ausgezeichnet (Pläne: Sergio Musmeci, Privatdruck, CESICA Pordenone)



18



19



20

21

22

schalen zusammengesetzte Metallrohre verwenden, die sich für die Vorfabrikation eignen; auch die Knoten sollten in dieser gemischten Bauweise ausgebildet werden.

TEMPEL FÜR DIE WISSENSCHAFT UND DIE RELIGION: NETZE

Ganz vom Gitternetz her gedacht ist das Tragwerk des Nuklearzentrums von Bombay (Mumbai), das er 1960 mit Leo Calini und Eugenio Montuori plante (Abb. 23). Er projektierte für den im Grundriss sechseckigen Bau ein pyramidales, von Rippen in Dreiecksform gegliedertes Dach. Dieses lagert auf enormen vom Boden abgehobenen Wandträgern, die auf sechs Eckpfeilern abgestützt sind.

Von anderer Funktion, aber vergleichbarem Zuschnitt ist die Kirche von Monte Grisa in Triest, die auf ein Gelübde zurückgeht, das der Bischof von Triest, Antonio Santini, am 30. April 1945 ablegte. Zum Dank dafür, dass Triest vor den Schrecken des Krieges bewahrt worden war, gelobte er, eine Kirche zu Ehren der Gottesmutter errichten zu lassen. Doch erst als 1959 das heilige Bild der Fatima nach Italien gebracht wurde, fanden sich die Mittel, und die Planung wurde dem Architekten Umberto Nordio anvertraut, damals ein bekannter Dozent der Architekturfakultät Triest. Am endgültigen Entwurf war auch Sergio Musmeci beteiligt.

21 Palazzo del Lavoro, Turin, Wettbewerb, 1960 (Architektur: Carlo Mollino, Carlo Borgogna): Das Team erzielte den zweiten Preis. Gewonnen wurde die Ausmarchung von Pier Luigi Nervi. (Fotos: Sergio Musmeci, Privatdruck, CESICA Pordenone)

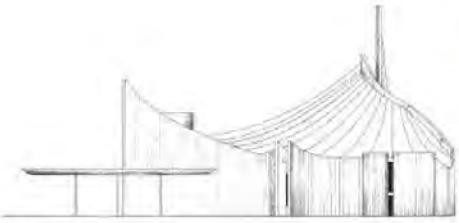
22 Centrale E.N.E.L. (Ente Nazionale Energia e Luce) Sassari (SS), 1964 (Architektur: Zenaide Zanini): Das Gebäude besteht aus zwei gegeneinander verschobenen, ineinander verschränkten Baukörpern mit rechteckigem Grundriss und symmetrischem Firstdach. Die Dächer sind zwischen vier grossen rautenförmigen Fachwerkträgern an den Stirnseiten der Baukörper aufgespannt. Zwei dieser rautenförmigen Träger werden von je einer mittig angeordneten A-förmigen Stütze getragen. Die anderen zwei Rautenträger ruhen mit den Enden auf je zwei einzelnen Stützen. Die Dachhaut liegt, ähnlich wie bei einer Zeltkonstruktion, auf Zugstangen auf, die zwischen den Firsten und den die Spitzen der rautenförmigen Träger verbindenden Randträgern gespannt sind

23 Nuklearzentrum Bombay (Mumbai), 1960 (Architektur: Leo Calini und Eugenio Montuori): Für das im Grundriss sechseckige Gebäude entwarf Musmeci ein pyramidales, von Rippen in Dreiecksform gegliedertes Dach

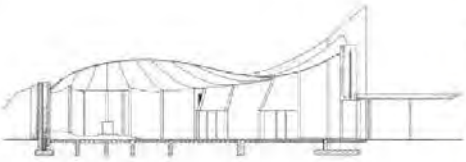
23

24 Kirche von Monte Grisa, Triest, 1960–1962 (Projekt) 1963–1966 (Ausführung) (Architektur: Umberto Nordio) (Fotos und Pläne: Sergio Musmeci, Privatdruck, CESICA Pordenone)
25–28 Kirche des Villaggio del Sole, Vicenza, 1961–1962 (Architektur: Sergio Ortolani): Form und Tragwerk der Kirche sind von der Spira mirabilis inspiriert

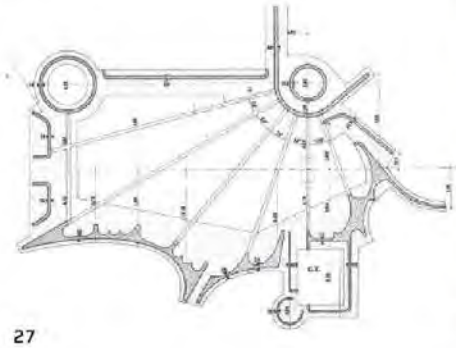
24



25

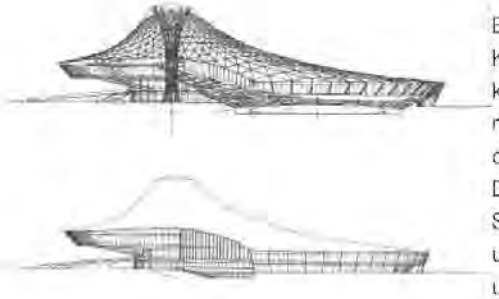


26



27

28



29

Es handelte sich um ein Gebäude an einem Hang des Monte Grisa auf 335 m ü. M. in einem Karstgebiet mit Höhlen und starkem Wind (200 km/h), in dem erhebliche Temperaturschwankungen auftreten. Der Bau erfolgte erst 1963–1966 nach Modellversuchen im Istituto Sperimentale Modelli e Strutture (ISMES) in Bergamo und in der Windgalerie des Luftfahrtinstituts der Technischen Universität Turin.

Der 45 m hohe, sich über kreuzförmigem Grundriss (60 m × 60 m) erhebende monumentale Stahlbetonbau besteht aus drei riesigen Prismen, die auf einer gemeinsamen Basis stehen und in denen zwei in der Form eines griechischen Kreuzes übereinander liegende Kirchen untergebracht sind. Die Schau-Fassaden sind in ein Masswerk aus gleichschenkligen Dreiecken aufgelöst (Abb. 24).

Umgekehrt ist die 1961–1962 errichtete Kirche des Villaggio del Sole in Vicenza nach demselben Konstruktionsprinzip aufgebaut, aus dem Musmeci aber eine leichte, zeltartige Form generierte (Abb. 25–28). Sie ist in der Mitte des Villaggio del Sole in Vicenza platziert – einem im Rahmen des staatlichen Wohnbauförderungsprogramms INA CASA errichteten Stadtviertel, das von dem Architekten Sergio Ortolani errichtet wurde und 1962 mit dem IN-ARCH-Preis ausgezeichnet wurde. Das Dach des von der Spira mirabilis[3] inspirierten Baus schwingt sich über die sich schneckenförmig «aufrollenden» Mauern wie ein (Spiel-) Kreisel.

Fundamente und Mauern sind aus Stahlbeton und folgen dem im Grundriss spiralförmigen Verlauf der Rippen des Dachs. Dieses liegt auf kurzen Stahlbetonpfeilern, die auf den Mauern stehen. Der Meridianschnitt des Daches hat annäherungsweise die Form einer logarithmischen Spirale, deren Asymptote die Vertikale im Zentrum der Kirche ist. In statischer Hinsicht verhält sich die Dachkonstruktion im zentralen Bereich anders als in den Randbereichen. Zum fast kegelförmigen Zentrum hin herrschen Membranspannungen (dreidimensional), die zum Rand hin in Biegespannungen (zweidimensional) übergehen, bis an der Peripherie nur noch Schnittkräfte übrig bleiben. Die graduelle Erhöhung der tragenden Querschnitte reicht aus, um den Spannungen in der Dachkonstruktion standzuhalten.

MEERENGE VON MESSINA

Ein ganz anderes Feld – eine Kombination aus Hänge- und Schrägseilbrücke – spannt er 1969 mit dem Projekt für die Querung der Meerenge von Messina auf («Eingespannte Fahrbahn», S. 12). Musmeci greift die Idee des Jawerthschen Trägers auf, um die grösstmögliche Stabilität zu erreichen. Es ist eines der zahlreichen Projekte, für die er ex aequo mit dem 1. Preis ausgezeichnet wird.

Fausto Giovannardi, Dott. Ing., fausto@giovannardierontini.it, Überarbeitung: rhs, ar
Übersetzung aus dem Italienischen: Alexandra Geese

Anmerkungen

1 Jürg Conzett, Das Zusammenspiel technischer und architektonischer Aspekte am Beispiel des Palazzo della Regione in Trento (I), S. 95, in: www.af-z.ch/files/dialog_leseprobe.pdf. Vgl. auch: Jürg Conzett, Le strutture portanti del palazzo della Regione ed il contributo dell'ing. Sergio Musumeci, in: Marco Pogacnik et. al (Hg.) Il Palazzo della Regione a Trento di Adalberto Libera e Sergio Musmeci, Nicolodi, Rovereto (Tn) 2007, S. 105–136, hier: S. 95

2 IN/ARCH: Das 1960 als Stiftung gegründete Istituto Nazionale di Architettura hat u.a. zum Ziel, die architektonische Qualität zu erhöhen und den Austausch zwischen Baufachleuten zu fördern, indem sie Ausstellungen organisiert, Debatten anstösst und Preise ausschreibt wie IN/ARCH-Domosic, IN/ARCH-Finsider, IN/ARCH-Sir, IN/ARCH-Aniacap. Siegreich in der Konkurrenz um die Brücke war der Entwurf der Gruppe um Carlo Cestelli Guidi und Fabrizio De Miranda, der 1964–70 realisiert wurde

3 Wegen der «wundersamen» Eigenschaften der logarithmischen Spirale – z. B. umkreist sie den Ursprung unendlich oft, ohne ihn zu erreichen – bezeichnete der Mathematiker Jakob Bernoulli sie als «spira mirabilis». Es handelt sich um eine Spirale, die mit jeder Umdrehung den Abstand von ihrem Mittelpunkt, dem Pol, um den gleichen Faktor vergrössert. In umgekehrter Drehrichtung schlingt sich die Kurve mit abnehmendem Radius immer enger um den Pol

29 Palazzo dello Sport, Florenz, Wettbewerbsprojekt, 1965: 1966 gewinnt das Projekt von Musmeci den zweiten Preis ex aequo. Die Form seines hoch strukturalen Konzepts folgt aus dem Bestreben nach minimalem Materialeinsatz. Zwei grosse hyperboloidförmige Pfeiler tragen die Dachkonstruktion; diese ist als gleichförmig zugbeanspruchtes Dreiecks-Seilnetzwerk ausgebildet, um die grosse Öffnung über dem Eingang des Palastes zu überspannen

STAHLBETON, SEIFENBLASEN UND MODELLE

Noch vor einer Generation waren die heute selbstverständlichen numerischen Werkzeuge für Entwurf, Modellierung und Überprüfung von Kunstbauten nicht allgemein verfügbar. Unorthodoxe, visionäre Ingenieure wie Sergio Musmeci konnten ihre Entwürfe rechnerisch gar nicht zuverlässig überprüfen – und Versuche 1:1 hätten ihre Möglichkeiten überstiegen. Mit Modellexperimenten konnte hingegen mit vertretbarem Aufwand auch das Tragverhalten von «unmöglichen» Konstruktionen untersucht werden. Deshalb sind sie für das Werk von Sergio Musmeci von zentraler Bedeutung.

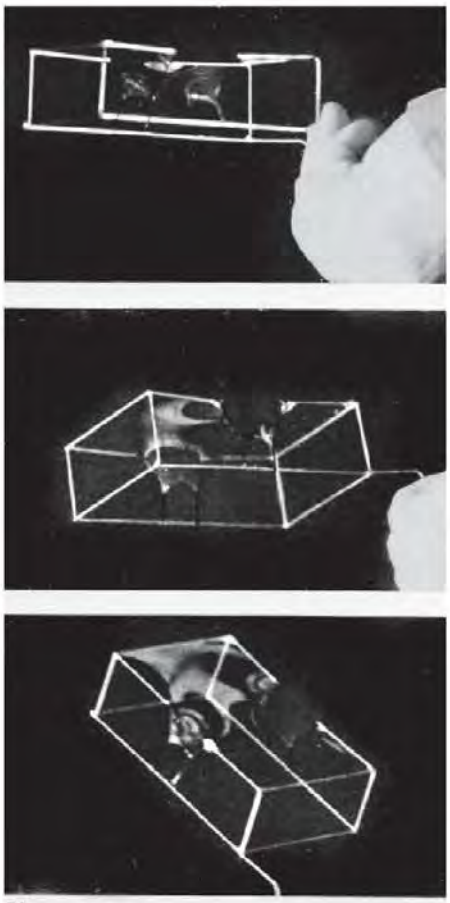
«Man kann sich nicht mit einer Projektierungsmethode zufrieden geben, in der die Verwendung von rationalen Instrumenten auf die Überprüfung beschränkt ist, während die Erfindung der Form willkürlichen oder nur auf die Intuition oder die Erfahrung gestützten Entwurfsakten überlassen wird. Die derzeitige Lücke in Sachen Rationalität zwischen den beiden Planungsphasen des Entwurfs und der Überprüfung ist absolut inakzeptabel und manchmal sogar lächerlich.»[1]
Sergio Musmeci wollte das Gleichgewicht der «Rationalität» zwischen den einzelnen Planungsphasen wiederherstellen, in der Überzeugung, dass die Form des Tragwerks ein zu erreichendes Ergebnis und nicht ein vorgegebener Fakt ist. Daher führte er parallel zu seiner fruchtbaren theoretischen Forschung zahlreiche Experimente durch, die auf dem Einsatz von Modellen verschiedenster Art beruhten: aus Gummi, Zementstein, Holz, Draht, Kunststoff, Seifenlösung, usw. Er setzte diese Werkstoffe aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften immer im engen Dialog mit anderen Analyse- und Berechnungsmethoden ein.

NETZE UND STÄBE

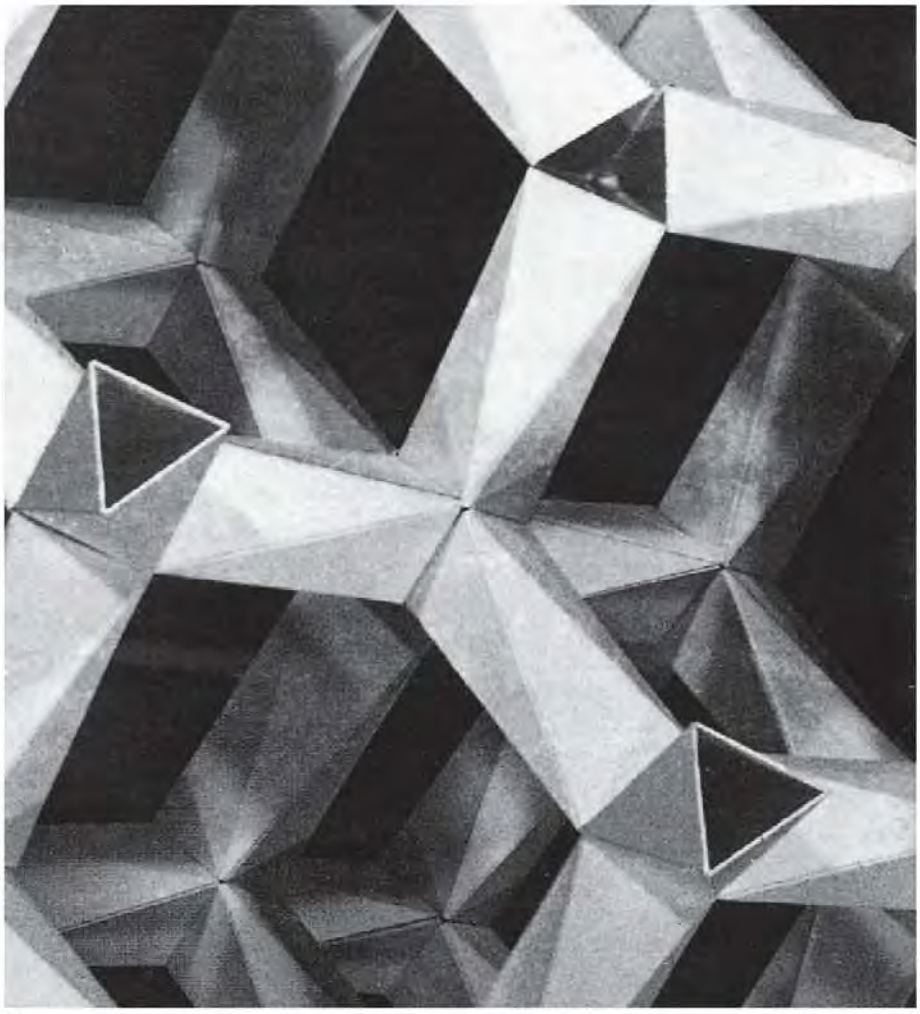
Eine erste Kategorie von Modellen betrifft die komplexen Untersuchungen diskreter Netze, also der unendlichen Reihe von Knoten, Netzen, Polyedern und «Antipolyedern»[2], die Musmeci unter Berücksichtigung der Arbeiten von Buckminster Fuller und Konrad Wachsmann als Teile eines gigantischen Stammbaums erarbeitete. Mit diesen im Massstab 1:1 oder in kleineren Massstäben erstellten Netzen sollten die in mathematische Diagrammen und zweidimensionalen Zeichnungen enthaltenen räumlichen Informationen konkret wiedergegeben werden, um die Wirkung des Konstruktionsdetails in der Realität zu prüfen. Das Ergebnis war ein Baukasten einsatzbereiter Tragwerkselemente, der gemeinsam mit anderen Untersuchungen auch den Ausgangspunkt für die Entwicklung grosser Projekte wie die Brücke über den Lao in Kalabrien (1964) und die Brücke über den Niger in Ajaokuta (1977) bildete. Diese aus vorgefertigten, uniform druckbeanspruchten Stahlbetonstäben bestehenden Tragwerke scheinen, unter anderen Gesichtspunkten, mit den Untersuchungen von Leonardo Mosso aus dem gleichen Zeitraum in Zusammenhang zu stehen (Abb. 2).[3]

MINIMALFLÄCHEN UND MEMBRANEN

Eine ganz andere Rolle spielen die Modelle, die sich auf Musmecis Untersuchungen der Geometrie des Kontinuums beziehen, insbesondere auf Minimalflächen (eine der Konstanten seines Werdegangs) – die Flächen, die für eine vorgegebene Umrandung mit der geringsten Menge an Material gebildet werden können. Diese Modelle sind mehr als dreidimensionale Visualisierungen theoretischer Spekulationen. Sie spielen vielmehr eine entscheidende Rolle für die Entstehung der Form des Tragwerks, die angesichts der Schwierigkeiten bei der



01

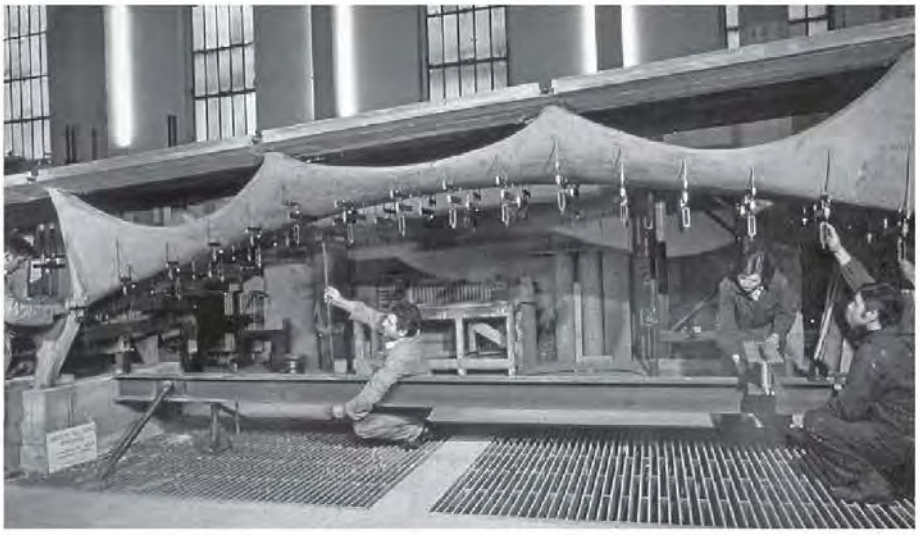


02

01 Aus Seifenlösung und Baumwollfäden bestehendes einfaches Modell für erste Studien der Brücke über den Basento, 1971–1975 (Foto: Industria Italiana del Cemento, Nr. 2, Februar 1977)
02 Modell einer dreidimensionalen Stabstruktur mit Tetraedern als Knoten (Foto: Manfredi Nicoletti, Sergio Musmeci. Organicità di forme e forze nello spazio, Testo & Immagine, Torino 1999, S.45)
03 Aus Methacrylat gefertigtes Modell der Brücke über den Basento, 1971–1975 (Foto: Industria Italiana del Cemento, Nr. 2, Februar 1977)
04 Umgekehrtes, mit Gewichten belastetes Seilmodell der projektierten Brücke über den Astico bei Vicenza, 1956 (Foto: Archivio Sergio Musmeci e Zenaide Zanini, Collezione MAXXI Architettura – Fondazione MAXXI, Roma)
05 Das aus bewehrtem Mikrobeton hergestellte Modell im Massstab 1:10 der Brücke über den Basento während der Überprüfung im Institut ISMES in Bergamo (Foto: Historisches Archiv ISMES, Bergamo)

03

04



05

06

07

analytischen Beschreibung gewisser Geometrien die mathematische Analyse ergänzen und manchmal übertreffen. Ein Beispiel ist das für die Brücke über den Astico bei Vicenza 1965 verwendete Studienmodell. Es besteht aus Schnüren, an denen Gewichte (Schraubenmuttern) hängen. Das Modell wird dann auf den Kopf gestellt, um das dem Belastungsverlauf entsprechende Profil des Tragwerks zu erhalten – ein Wiederaufgreifen der berühmten Seilmodelle von Antoni Gaudí, anhand derer dieser die Form der Bögen seiner Konstruktionen ermittelte (Abb. 4).[4] Auch Musmecis Zeitgenossen Heinz Isler und Heinz Hossdorf griffen damals auf diese einfache Modellierungstechnik zurück.

Zur Bestimmung des Profils der Tragkonstruktion der Brücke von Tor di Quinto in Rom (1959), die als gleichförmig und isotrop druckbeanspruchtes Membrangewölbe gedacht war, setzte Musmeci zwei verschiedene experimentelle Verfahren ein: ein stark zugbeanspruchtes Gummimodell (Abb. 6) und Experimente mit Membranen aus Seifenlösung. Die Arbeiten von Robert Le Ricolais, Frei Otto und der Forscher am Institut für leichte Flächentragwerke in Stuttgart hatten bereits gezeigt, dass die Eigenschaften dieser beiden Materialien ideal für Untersuchungen zur Formfindung sind: Gummi «tendiert unter Belastung dazu, die Form der Minimalfläche für einen bestimmten Umfang anzunehmen, und zwar unter gleichförmiger Zugspannung»[5]. Wird dagegen ein Film einer Flüssigkeit mit hoher Oberflächenspannung über einen gegebenen Rahmen gespannt, erhält man Minimalflächen, die wie das Gewölbe der geplanten Brücke gestaltet sind, aber mit anderem Vorzeichen der Spannungen, denn der Beton sollte unter reiner Druckbeanspruchung eingesetzt werden.

IN VIELEN SCHRITTEN ZUM MEISTERWERK

Musmecis experimentelle Tätigkeit mit Modellen erreichte bei der Planung seines Meisterwerks, der Brücke über den Basento (1967–1976), ihren Höhepunkt. Um die Form des dünnen Stahlbetongewölbes zu ermitteln, das als Fläche mit uniformer, aber nicht isotroper Druckspannung konzipiert ist, führte der Ingenieur aus Rom in erster Linie Experimente mit zwischen Baumwollfäden und Drähten aufgespannter Seifenlösung durch (Abb. 1).[6] Die so erhaltenen Daten wurden dann mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren ausgewertet.[7] Auf Grund der ersten, noch approximativen Ergebnisse liess Musmeci ein Modell aus Neopren herstellen. Dieses Material hat im Vergleich zu Seifenlauge mehrere Vorteile: Es ist nicht nur stabiler und ermöglicht die Ausbildung von unterschiedlichen Spannungen in zwei senkrecht aufeinander stehenden Richtungen (wie für das Brückengewölbe geplant), sondern erlaubt durch die Aufteilung der Fläche in Quadrate auch eine genaue Messung der Form, die als Reaktion auf die einwirkenden Kräfte entsteht.

Mit dem Nachweis, dass die gemessene Neopren-Fläche mit der durch Berechnungen ermittelten Form übereinstimmte,[8] verfügte Musmeci endlich über die erste wahre «Projektierungsfläche», auf der vertiefende und detailliertere Studien, Berechnungen und Prüfungen aufbauten. So wurde die noch im Embryonalzustand befindliche Form des Tragwerks gefunden – noch handelte es sich um eine «namenlose Form»[9]. Damit ging die Entwurfsphase Schritt für Schritt in die Überprüfungsphase über. Ein drittes Modell aus Methacrylat, das auf der mit Hilfe des zweiten Modells entwickelten Form basierte, bildete zwei Felder der Brücke im Massstab 1:100 (1.4 m lang) ab. Es diente dazu, durch Prüfungen des elastischen Verhaltens einen ersten Beweis für die Richtigkeit der in der Zwischenzeit angestellten Berechnungen zu führen. Für dieses im Modellforschungslabor der Fakultät für Ingenieurwesen der Universität Rom erstellte Modell wurde der Kunststoff zwischen einer Kernform aus Holz und einer Gegenform aus Aluminiumguss warm gebogen (Abb. 3).[10]

LETZTE PRÜFUNG AM GROSSMODELL

Als das Projekt zur Realisierung bereit war, forderte der Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (A.d.Ü.: Oberstes Aufsichtsgremium für öffentliche Aufträge) angesichts der Besonderheit des Tragwerks und einiger letzter Zweifel eine weitere Prüfung anhand eines wesentlich grösseren Stahlbetonmodells, das im Istituto Sperimentale Modelli e Strutture (ISMES) in Bergamo gebaut werden sollte. Das ISMES, dessen Präsident damals Pier Luigi Nervi war,

06 Studienmodell aus Gummi für das Projekt der Brücke von Tor di Quinto in Rom, 1959
(Foto: Archivio Sergio Musmeci e Zenaide Zanini, Collezione MAXXI Architetture – Fondazione MAXXI, Roma)

07 Das grosse, am Institut ISMES in Bergamo 1955 aus bewehrtem Mikrobeton hergestellte Modell im Massstab 1:15 des Pirelli-Hochhauses in Mailand von Architekt P. L. Nervi und Ingenieur A. Danusso
(Foto: Historisches Archiv ISMES, Bergamo)

war eines der weltweit wichtigsten Zentren für die Tragwerksmodellierung und sein führendes Spezialgebiet waren grosse Modelle aus bewehrtem Mikrobeton; ein Nischenbereich, der sich in Europa seit der ersten Hälfte der 1930er-Jahre insbesondere in Spanien entwickelt hatte, wo Eduardo Torroja die Betonmodelle des Marktes von Algeciras und der Frontón Recoletos in Madrid geschaffen hatte. In Italien verfolgte insbesondere Nervi diese Forschungsrichtung dank der Zusammenarbeit mit Arturo Danusso, der unglaubliche Modelle im Massstab 1:15 der Konstruktion des Pirelli-Hochhauses (1954–60, Abb. 7) und der Kathedrale von San Francisco (1963–70) erstellen liess.[11]

Das vierte, zwei Felder umfassende Modell der Brücke über den Basento wurde im Massstab 1:10 aus Stahlbeton hergestellt. Dabei wurden «so weit wie möglich» alle für die Statik relevanten Details, insbesondere die massstäblich verkleinerte Stahlbewehrung und die entsprechend reduzierten Vorspannkabel, reproduziert. Das 14 m lange Modell, dessen Gewölbe nur 3 cm stark war, hätte eine Belastung von mehreren Tonnen tragen sollen: ein Meisterwerk in Miniatur, das Musmeci als «Eierschale im Schraubstock»[12] bezeichnete (Abb. 5). Die daran vorgenommen Prüfungen führten zu mehreren Anpassungen des Überbaus, zu Verstärkungen der Schlüsselstellen des Bogens und zur Erhöhung der Querbewehrung. Darauf folgten weitere Prüfungen und weitere Änderungen bis zur abschliessenden Bestimmung der Bruchlast: vom 29. bis 31. März 1971 wurden die Eigen- und die Nutzlast bis zum Versagen der gesamten Tragkonstruktion erhöht.

FANTASIEVOLL UND DOCH NÜTZLICH

Das ISMES-Modell diente als «lebendiges Instrument» und wurde während des Entwicklungsprozesses auf Grund der Ergebnisse laufend verändert. Es spielte nicht nur eine entscheidende Rolle für die Klärung statischer Fragen, sondern ermöglichte die präventive Lösung vieler Probleme, die sonst erst während des Baus aufgetreten wären. Dazu gehörte insbesondere die Schalung, die hohe Anforderungen an die Ausführung stellte. Im ISMES wurde sie unter direkter Aufsicht von Musmeci aus bewehrtem Gips erstellt, so dass Anomalien der Aufzeichnungsdaten während der Herstellung korrigiert werden konnten. Bei Fertigstellung der endgültigen Schalungen wurde auch ein 1:1-Modell aus bewehrtem Gips des Viertels eines Feldes hergestellt, das dem Bauunternehmen Edilstrade aus Forlì als dreidimensionale Referenz für die Ausführung auf der Baustelle übergeben wurde.[13]

An diesem letzten Beispiel zeigt sich, wie schwierig es ist, den Nutzen und den genauen Einsatzbereich jedes einzelnen Modells genau abzugrenzen. Die Modelle liegen zwischen Wissenschaft und Handwerk, zwischen Fantasie und analytischer Strenge und sind als Werkzeuge zu verstehen, die dank ihrer konkreten Tangibilität das vermitteln, was keine Formel und keine Zeichnung allein darstellen könnte. Mit diesem herausragenden Modell von ISMES begann jedoch auch der Niedergang der Praxis des Experimentierens mit «konkreten» Modellen. Der Einzug von Computern in die Ingenieurpraxis und die Entwicklung von Finite-Elemente-Berechnungsmethoden (FEM) verdrängten die Modelle nach und nach und ersetzten sie durch im Hinblick auf Zeit und Kosten weniger aufwendige und häufig zuverlässigere virtuelle Abbildungen. Vor seinem frühen Tod im Jahr 1981 nahm Musmeci, der sich auch für die Forschung von Heinz Hossdorf[14] interessierte, zu diesen Themen Stellung[15] und bewies erneut seine Fähigkeit, unterschiedliche Untersuchungsmethoden im Hinblick auf ein gemeinsames Ziel zu verbinden: die vollständige Kontrolle über den Prozess der Projektierung.

Gabriele Neri, Architekt, Ph. D., gabrineri@hotmail.it

Übersetzung aus dem Italienischen: Alexandra Geese

Anmerkungen

1 Sergio Musmeci: «Le tensioni non sono incognite» aus: Parametro, Nr. 80, Oktober 1979, Seite 40

2 Antipolyeder sind Strukturen, die «wie Polyeder aus Ecken, Kanten und polygonalen Seiten bestehen, die jedoch zu viele Polygone für jede Ecke haben». Sergio Musmeci: «La genesi della forma nelle strutture spaziali» aus: Parametro, Nr. 80, Oktober 1979, Seite 26

3 Auf Modelle, die in erster Linie der Präsentation von Projekten dienen, wird nicht eingegangen

4 Aus: Jos Tomlow: «Das Modell. Antoni Gaudís Hängemodell und seine Rekonstruktion – Neue Erkenntnisse zum Entwurf». Institut für Leichte Flächentragwerke, Stuttgart 1989

5 Sergio Musmeci: «Appalto concorso per il nuovo ponte a Tor di Quinto – Roma» aus: Notiziario di tecnica moderna applicata all'ingegneria civile, Nr. 2–3, September 1959, Seite 4

6 Lange Zeit waren Seifenblasen das einzige Mittel zur Bestimmung der optimalen Neigung von nicht-trivialen Dachkonstruktionen auf Basis von Seilsystemen und Tragbögen. Dazu wurde die Konstruktion als Rahmen aus Draht geformt und dann in Seifenwasser getaucht. Beim vorsichtigen Herausziehen ergab sich das experimentell gefundene Optimum der Form. Durch Fotografie und andere Methoden wurde das Ergebnis fixiert und auf die Konstruktionszeichnungen übertragen. Ein herausragendes Beispiel dieser Methodik ist das Olympiagelände München von Frei Otto

7 Sergio Musmeci: «Ponte sul Basento a Potenza» aus: L'Industria italiana del cemento, Nr. 2, Februar 1977, Seiten 82–83

8 Ebenda, Seite 84

9 Vgl. Rinaldo Capomolla: «Il ponte sul Basento, ovvero l'invenzione di una forma ‹ancora senza nome›» aus: Casabella, Nr. 739–740, Dezember 2005 – Januar 2006, Seiten 13–19
Zur Brücke über den Basento siehe auch Margherita Guccione (Hrsg.): Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza. Gangemi Editore, Rom, 2003

10 Vgl. Rinaldo Capomolla: «Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci. Il progetto della forma strutturale prima dell'avvento del calcolo automatico» aus: Atti del Primo Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria. Cuzzolin, Neapel, 2006, Seiten 1143–1152

11 Für einen zusammenfassenden Überblick der von Nervi geschaffenen Tragwerksmodelle wird verwiesen auf: Gabriele Neri: «En miniature: Die Modelle des I.S.M.E.S. in Bergamo» aus: Bauwelt, Nr. 101, Mai 2010, Seiten 20–27

12 Sergio Musmeci: «Ponte sul Basento a Potenza» aus: L'Industria italiana del cemento, Nr. 2, Februar 1977, Seite 86

13 Vgl. Historisches Archiv des ISMES – Seriate (BG): «Viadotto sul Basento. Relazione sulle prove statiche eseguite su modello in cemento armato in scala 1:10» aus: Vorgang Nr. 835, Juni 1971

14 Vgl. Heinz Hossdorf: Modellstatik. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin. Im Archiv Sergio Musmeci im MAXXI in Rom werden einige übersetzte Texte von Heinz Hossdorf aufbewahrt

14 Sergio Musmeci: «Il calcolo elettronico e la creazione di nuove forme strutturali» aus: Maria Zevi (Hrsg.): Il computer nella progettazione. Bulzoni, Rom, 1972, Seiten 147–166